

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Siklus Hidrologi**

Siklus hidrologi adalah suatu siklus air atau jalannya air di lingkungan, mulai dari air yang menguap ke udara hingga kembali ke dalam tanah. Menurut (Nugroho, 2010) siklus hidrologi adalah proses transportasi air secara berlanjut dari laut ke atmosfer dan dari atmosfer ke permukaan tanah yang akhirnya kembali lagi ke laut. Adapun siklus hidrologi yang dapat dijelaskan menurut (Nugroho, 2010) adalah sebagai berikut:

1. Proses penguapan air permukaan seperti air laut, sungai, danau, sawah, dan air yang terkandung dalam tumbuhan menguap karena terkena sinar matahari. Proses penguapan tersebut dengan evapotranspirasi dimana dalam proses ini terjadi perubahan bentuk air dari cair menjadi uap air atau awan.
2. Uap air dari hasil penguapan pada ketinggian tertentu berubah menjadi awan dan ada yang terbawa angin ke gunung, karena pengaruh udara dingin air berubah menjadi awan. Dalam proses ini terjadi perubahan bentuk air dari cair menjadi gas (uap) dan berubah lagi menjadi embun. Bahkan menjadi Kristal-krista es (padat).
3. Awan sampai pada suhu dan ketinggian tertentu yang akhirnya jatuh ke bumi dalam bentuk hujan. Dalam proses ini air yang berbentuk padat (Kristal es) jatuh ke permukaan bumi menjadi cair. Air hujan yang jatuh ke permukaan bumi ada yang mengalir ke permukaan tanah (mengalir ke sungai, danau dan laut) dan adapula yang meresap ke dalam tanah yang menjadi air tanah.

Namun pada kondisi saat ini, pembangunan-pembangunan infrastruktur yang semakin banyak mengakibatkan keadaan air tanah menjadi tak seimbang antara pengeluaran dan pemasukan. Keadaan tersebut yang mengakibatkan banjir. Limpasan yang terjadi dipermukaan tak mampu menyerap kedalam tanah.

## 2.2 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi bermaksud untuk mengetahui nilai besarnya intensitas curah hujan sebagai dasar untuk menghitung debit banjir rencana. Pada suatu daerah yang ingin merencanakan bangunan pengendali banjir atau mengevaluasinya, analisis hidrologi ini diharapkan mampu menghasilkan jumlah kebutuhan debit maksimum. Berikut adalah tahapan-tahapan dari Analisis Hidrologi sebagai berikut:

1. Pengumpulan data curah hujan sesuai dengan stasiun hujan di lokasi studi
2. Analisis frekuensi curah hujan
3. Analisis curah hujan rencana dengan kala ulang tertentu
4. Analisis intensitas hujan

### 2.2.1 Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana adalah suatu data tentang curah hujan terbesar dengan periode ulang tertentu, misalnya 2, 5, 10, atau 20 tahun. Adapun pemilihan metode analisa hujan rencana tersebut tergantung dari kesesuaian parameter statistik data yang bersangkutan atau dipilih berdasarkan pertimbangan-pertimbangan teknis lain. Dalam rencana menentukan besarnya curah hujan rencana perlu diadakan pemilihan sebaran frekuensi yang dipakai.

### 2.2.2 Curah Hujan Rencana Daerah

Dalam suatu daerah atau wilayah terdapat beberapa stasiun penangkar hujan, maka untuk mendapatkan nilai curah hujan daerah adalah dengan mengambil nilai rata-ratanya. Menurut Nugroho (Hidrologi Teknik, 2010), dalam perhitungan hujan rata-rata terdapat beberapa metode yang sering digunakan, yaitu:

1. Metode Aritmatik

Perhitungan hujan rata-rata metode aritmatik caranya adalah dengan membagi rata jumlah hujan dari hasil pencatatan stasiun yang ada pada daerah aliran sungai. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

Di mana:

$P$  = hujan rata-rata (mm)

$n$  = jumlah stasiun

## 2. Metode Polygon Thiessen

Perhitungan hujan rata-rata dengan menggunakan metode Polygon Thiessen dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Mencari luasan daerah pengaruh setiap pos pengamatan dan menggunakan sumbu garis tegak lurus antara dua pos penakar
- Menghitung presentase luas daerah pengaruh masing-masing stasiun penakar curah hujan
- Dari ketiga stasiun yang ada, ditentukan curah hujan maksimum
- Menghitung curah hujan rata-rata daerah (wilayah) dengan mengalihkan persentase pengaruh pada setiap pos pengamatan dengan curah hujan harian maksimum. Nilai curah hujan maksimum daerah ( $R$ ) yaitu:

$$R = X_i = W_1.R_1 + W_2.R_2 + W_3.R_3$$

Di mana :

$R$  = tinggi curah hujan rata-rata daerah (mm)

$A$  = luas area ( $\text{km}^2$ )

## 3. Metode Isohyet

Merupakan cara yang paling teliti, tetapi membutuhkan jaringan stasiun penakar yang relative lebih tepat guna memungkinkan untuk membuat garis-garis isohyet. Metode isohyets dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Memploting masing-masing stasiun hujan pada peta dasar
2. Mencatat jumlah hujan pada setiap stasiun hujan
3. Membuat interpolasi dengan garis kontur antara stasiun-stasiun hujan menurut interval yang dikehendaki

4. Luas sub-area antara 2 garis kontur yang dipakai sebagai faktor pemberat dalam menghitung hujan rata-rata.

### 2.2.3 Analisa Frekuensi Curah Hujan

Analisa frekuensi curah hujan merupakan analisa statistik penafsiran (*statistical inference*) hujan, biasanya dalam perhitungan hidrologi dipakai untuk menentukan terjadinya periode ulang hujan pada periode tahun tertentu. (Nugroho, 2010:35).

Merencanakan suatu bangunan hidrolis diperlukan adanya analisa frekuensi curah hujan agar perencanaan bangunan hidrolis tetap aman terhadap banjir dengan mempertimbangkan debit maksimum yang diperoleh. Meluapnya limpaan air ke permukaan berasal dari luapan di daerah aliran sungai akibat hujan yang lebat. Menurut Nugroho (Hidrologi, 2010) analisa frekuensi bertujuan untuk menentukan distribusi yang sesuai dalam mendapatkan curah hujan rencana yang diperoleh dari parameter statistik dengan persamaan sebagai berikut:

- A. Standar Deviasi (SD)

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{x})^2}{n-1}}$$

- B. Koefisien Varian (Cv)

$$CV = \frac{SD}{\bar{x}}$$

- C. Koefisien kemencengan (Cs)

$$Cs = \frac{n \sum (Xi - \bar{x})^3}{(n-1) \sum (Xi - \bar{x}) \sum (Xi - \bar{x})^2 \sum (Xi - \bar{x})^3}$$

- D. Koefisien Kurtosis (Ck)

$$Ck = \frac{\sum (Xi - \bar{x})^4}{(n-1) \sum (Xi - \bar{x}) \sum (Xi - \bar{x})^2 \sum (Xi - \bar{x})^3 \sum (Xi - \bar{x})^4}$$

Di mana:

$\bar{X}$  : nilai rata-rata hitung

$X_i$  : data urutan ke-i

$n$  : banyaknya data

SD : standar deviasi

$C_v$  : koefisien varian

$C_s$  : koefisien kemencengan

$C_k$  : koefisien kurtosis

Menurut Nugroho (2010:36), dalam analisa frekuensi curah hujan harian maksimum, kebenaran perhitungan yang dibuat dari analisa data hujan harian maksimum sebenarnya tidak dapat dipastikan kebenarannya secara *absolute*. Oleh karena itu, aplikasi teori peluang sangat dibutuhkan. Beberapa aplikasi peluang/persamaan distribusi yang sering digunakan dalam perhitungan hidrologi antara lain adalah Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Gumbel, dan Distribusi Log Pearson Type-III. Adapun syarat untuk penggunaan distribusi frekuensi yang tepat adalah sebagai berikut:

1. Koefisien kemencengan  $\approx 0$   
 Koefisien kurtosis  $= 3$   
 Maka digunakan **Distribusi Normal**.
2. Koefisien kemencengan  $= 3$   
 Koefisien kurtosis  $\approx 3$   
 Maka digunakan **Distribusi Log Normal**
3. Koefisien kemencengan  $= 1,1396$   
 Koefisien kurtosis  $= 5,40023$   
 Maka digunakan **Distribusi Gumbel**
4. Koefisien kemencengan  $=$  Tidak ditentukan  
 Koefisien kurtosis  $=$  Tidak ditentukan  
 Maka digunakan **Distribusi Log Pearson Type III**

### 2.2.4 Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Uji kesesuaian distribusi frekuensi ini bertujuan untuk dapat mengetahui pemilihan distribusi yang digunakan pada perhitungan curah hujan rancangan diterima atau tidak. Pengujian ini dilakukan dengan memakai metode Smirnov Kolmogorov dan metode Chi-Kuadrat.

#### A. Uji Smirnov Kolmogorov

Uji smirnov kolmogorov adalah uji kesesuaian non-parametrik. Karena pengujiannya tidak memakai fungsi sebaran tertentu. Menurut (Nugroho, 2010) langkah-langkah pengujian Smirnov Kolmogorov adalah sebagai berikut:

1. Mengurutkan data dari besar ke kecil
2. Menentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya)
3. Dari kedua nilai peluang tersebut tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan teoritisnya
4. Berdasarkan tabel nilai kritis (tabel smirnov-kolmogorov), tentukan nilai  $D_0$ .  
 → apabila  $D$  lebih kecil dari  $D_0$ , maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima  
 → apabila  $D$  lebih besar dari  $D_0$ , maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

**Tabel 2.1** Nilai Kritis  $D_0$  untuk Uji Smirnov-Kolmogorov

N	A			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29

35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,18	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n > 50	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$

*Sumber: Nugroho Hadisusanto, Aplikasi Hidrologi (Analisis Frekuensi)*

Adapun manfaat dari uji Smirnov kolmogorov ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang dipakai untuk melakukan uji ini tidak perlu dikategorikan. Dengan begitu, semua informasi hasil pengamatan bisa terpakai
2. Uji ini dapat digunakan untuk semua ukuran sample
3. Uji ini memakai asumsi bahwa distribusi teoritis bersifat berlanjut.

#### B. Uji Chi-Kuadrat

Metode uji Chi Square ini biasanya dipakai untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistic sample data yang di analisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan tolak ukur  $X^2$ . Metode uji Chi-Kuadrat ini dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$X^2 = \sum \frac{(Ef - Of)^2}{Ef}$$

Di mana:

$X^2$  : nilai chi kuadrat

$Ef$  : frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelas

$Of$  : frekuensi yang diamati pada kelas yang sama

Hasil dari pengujian tersebut dapat diartikan sebagai berikut:

1. Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
2. Apabila peluang lebih kecil 1%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan tidak dapat diterima.
3. Apabila peluang berada diantara 1-5% adalah tidak mungkin mengambil keputusan, masih perlu tambahan data.

**Tabel 2.2** Nilai Kritis Distribusi Chi-Kuadrat

Percentage Points of the Chi-Square Distribution									
Degrees of Freedom	Probability of a larger value of $\chi^2$								
	0.99	0.95	0.90	0.75	0.50	0.25	0.10	0.05	0.01
1	0.000	0.004	0.016	0.102	0.455	1.32	2.71	3.84	6.63
2	0.020	0.103	0.211	0.575	1.386	2.77	4.61	5.99	9.21
3	0.115	0.352	0.584	1.212	2.366	4.11	6.25	7.81	11.34
4	0.297	0.711	1.064	1.923	3.357	5.39	7.78	9.49	13.28
5	0.554	1.145	1.610	2.675	4.351	6.63	9.24	11.07	15.09
6	0.872	1.635	2.204	3.455	5.348	7.84	10.64	12.59	16.81
7	1.239	2.167	2.833	4.255	6.346	9.04	12.02	14.07	18.48
8	1.647	2.733	3.490	5.071	7.344	10.22	13.36	15.51	20.09
9	2.088	3.325	4.168	5.899	8.343	11.39	14.68	16.92	21.67
10	2.558	3.940	4.865	6.737	9.342	12.55	15.99	18.31	23.21
11	3.053	4.575	5.578	7.584	10.341	13.70	17.28	19.68	24.72
12	3.571	5.226	6.304	8.438	11.340	14.85	18.55	21.03	26.22
13	4.107	5.892	7.042	9.299	12.340	15.98	19.81	22.36	27.69
14	4.660	6.571	7.790	10.165	13.339	17.12	21.06	23.68	29.14
15	5.229	7.261	8.547	11.037	14.339	18.25	22.31	25.00	30.58
16	5.812	7.962	9.312	11.912	15.338	19.37	23.54	26.30	32.00
17	6.408	8.672	10.085	12.792	16.338	20.49	24.77	27.59	33.41
18	7.015	9.390	10.865	13.675	17.338	21.60	25.99	28.87	34.80
19	7.633	10.117	11.651	14.562	18.338	22.72	27.20	30.14	36.19
20	8.260	10.851	12.443	15.452	19.337	23.83	28.41	31.41	37.57
22	9.542	12.338	14.041	17.240	21.337	26.04	30.81	33.92	40.29
24	10.856	13.848	15.659	19.037	23.337	28.24	33.20	36.42	42.98
26	12.198	15.379	17.292	20.843	25.336	30.43	35.56	38.89	45.64
28	13.565	16.928	18.939	22.657	27.336	32.62	37.92	41.34	48.28
30	14.953	18.493	20.599	24.478	29.336	34.80	40.26	43.77	50.89
40	22.164	26.509	29.051	33.660	39.335	45.62	51.80	55.76	63.69
50	27.707	34.764	37.689	42.942	49.335	56.33	63.17	67.50	76.15
60	37.485	43.188	46.459	52.294	59.335	66.98	74.40	79.08	88.38

Sumber: Nugroho Hadisusanto, Aplikasi Hidrologi

### 2.2.5 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari daerah pengaliran ke titik pengukuran. Lama waktu konsentrasi ( $t_c$ ) terdiri atas waktu yang diperlukan air untuk mengalir melalui permukaan tanah ke



saluran terdekat ( $t_o$ ) dan waktu untuk mengalir didalam saluran ke tempat yang diukur ( $t_d$ ).

$$t_c = t_o + t_d$$

di mana:

1. *Inlet Time* ( $t_o$ )

$$t_o = \left[ \frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right]$$

2. *Condukt Time* ( $t_d$ )

$$t_d = \frac{L_s}{60 \times v}$$

di mana:

$t_c$  = waktu konsentrasi (jam)

$t_o$  = waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir melalui permukaan tanah ke saluran terdekat (menit)

$t_d$  = waktu yang mengalir ke dalam saluran menuju ketempat yang diukur (menit)

$n$  = angka kekasaran Manning

$S$  = kemiringan lahan

$L$  = panjang lintasan aliran diatas permukaan lahan (m)

$L_s$  = panjang lintasan aliran didalam saluran (m)

$V$  = kecepatan aliran didalam saluran (m/dt)

### 2.2.6 Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah besarnya curah hujan rata-rata yang terjadi pada suatu daerah dalam suatu satuan waktu tertentu yang sesuai dengan waktu konsentrasi dan periode ulang tertentu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung, intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya, maka makin tinggi pula intensitasnya.

Seandainya data hujan yang diketahui hanya hujan harian, maka menurut Dr. Mononobe intensitas hujan ( $I$ ) di dalam rumus rasional dapat dihitung dengan rumus (CD. Soemarto, Hidrologi Teknik, 1995):

$$I = \frac{R}{24} \times \frac{24^{2/3}}{tc}$$

Di mana:

I = intensitas hujan (mm/jm)

R = curah hujan rencana setempat (mm)

tc = lama waktu konsentrasi (jam)

### 2.2.7 Koefisien Pengaliran

Koefisien aliran permukaan (C) didefinisikan sebagai nisbah antara laju puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Faktor utama yang mempengaruhi nilai C adalah laju infiltrasi tanah, tanaman penutup tanah dan intensitas hujan (Arsyad, 2006)

Menurut Nugroho (2010:153), angka koefisien aliran pada daerah tropis dapat ditentukan berdasarkan beberapa kondisi permukaan tanah, tanpa mempertimbangkan kondisi intensitas hujan, untuk perencanaan drainase dapat dilihat pada tabel 2.3

**Tabel 2.3** Angka Koefisien Aliran Untuk Perencanaan Drainase (C)

#### A. Daerah Urban

No	Tipe Daerah Aliran Sungai	Koefisien Pengaliran (C)
1	Rerumputan	
	- Tanah pasir, datar, 2%	0,05 – 0,10
	- Tanah pasir, rata-rata, 2% - 7%	0,10 – 0,15
	- Tanah pasir, curam, > 7%	0,15 – 0,20
2	Perumahan	
	- Daerah single family	0,30 – 0,50
	- Daerah multi unit	0,60 – 0,75
	- Daerah rumah apartemen	0,50 – 0,70
3	Industri	
	- Daerah industri ringan	0,70 – 0,95
	- Daerah industri berat	0,60 – 0,90
4	Bisnis	
	- Daerah kota	0,75 – 0,95
	- Daerah pinggiran	0,50 – 0,70

5	Jalan	
	- Beraspal	0,70 – 0,95
	- Beton	0,80 – 0,95
	- Batu bata	0,70 – 0,85
6	Taman	0,10 – 0,25
7	Tempat bermain	0,60 – 0,90

## B. Daerah Pertanian

No	Tipe Daerah Aliran Sungai	Kofisien Aliran Sungai (C)
1	Datar	
	- Lempung padat, ditanami	0,50
	- Lempung padat, hutan	0,40
	- Lempung berpasir, ditanami	0,20
	- Lempung berpasir, hutan	0,10
2	Berbukit	
	- Lempung padat, ditanami	0,50
	- Lempung padat, hutan	0,40
	- Lempung berpasir, ditanami	0,20
	- Lempung berpasir, hutan	0,10
3	Persawahan berair	0,70 – 0,80

**Tabel 2.4** Angka Koefisien Aliran untuk Daerah Aliran Sungai (C)

No	Kondisi Daerah Aliran Sungai	Koefisien Aliran Sungai (C)
1	Pegunungan curam	0,75 – 0,90
2	Pegunungan Tersier	0,70 – 0,80
3	Tanah bergelombang dan hutan	0,50 – 0,75
4	Dataran pertanian	0,45 – 0,60
5	Persawahan yang diairi	0,70 – 0,80
6	Sungai di pegunungan	0,75 – 0,85
7	Sungai di dataran	0,45 – 0,75
8	Sungai besar yang sebagian alirannya di dataran rendah	0,50 – 0,75

*Sumber: Nugroho, Aplikasi Hidrologi, 2010*

### 2.3 Debit Banjir Rencana

Debit rencana adalah debit yang dipakai sebagai dasar untuk perhitungan ukuran bangunan yang direncanakan. Banyak metode-metode yang digunakan untuk mengetahui nilai debit banjir rencana. Diantaranya adalah Metode Rasional, Metode Mononobe, Metode Van Breen, dan Metode Haspers dan Der Wedumen. Untuk daerah pengaliran yang luasnya lebih kecil dari 50 km<sup>2</sup>, digunakan Metode Rasional.

#### A. Metode Rasional

Untuk menghitung intensitas curah hujan, Metode Rasional ini seringkali digunakan. Metode ini digunakan untuk daerah yang memiliki luas aliran tidak lebih dari 300 ha. Berikut adalah rumus dari metode rasional sebagai berikut:

$$Q = 0,278.C.I.A$$

Di mana:

Q : debit (m<sup>3</sup>/dt)

C : koefisien aliran

I : intensitas curah hujan (mm/jm)

A : luas daerah aliran (km<sup>2</sup>)

#### B. Metode Mononobe

Jika ingin mendapatkan nilai intensitas curah hujan berdasarkan data curah hujan harian, maka metode ini dapat digunakan. Rumus dari metode mononobe adalah sebagai berikut:

$$I_t = \frac{R_{24}}{24} \times \frac{24^{\frac{2}{3}}}{t_c}$$

Di mana:

I<sub>t</sub> : intensitas hujan untuk lama hujan t (mm/jm)

t<sub>c</sub> : waktu konsentrasi (jam)

R<sub>24</sub> : curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

### C. Metode Van Breen

Metode ini ditemukan oleh salah seorang berkebangsaan Belanda bernama Hendrik van Breen, beliau menemukan metode ini ketika sedang meneliti di Indonesia, terkhusus di Pulau Jawa. Berikut adalah rumus dari Metode Van Breen sebagai berikut:

$$I_T = \frac{54Rt + 0,07 RT^2}{tc + 0,3 Rt}$$

Di mana:

$I_T$  : intensitas curah hujan pada suatu periode ulang (T tahun)

$R_T$  : tinggi curah hujan pada periode ulang T tahun (mm/hr)

### D. Metode Haspers dan Der Weduwen

Menurut (Melinda, 2007), metode ini berasal dari kecenderungan curah hujan harian yang dikelompokkan atas dasar anggapan bahwa curah hujan memiliki distribusi yang simetris dengan durasi curah hujan lebih kecil dari 1 jam. berikut adalah rumus dari Metode Haspers dan Der Weduwen adalah sebagai berikut:

$$R_i = X_t \left( \frac{1218t + 54}{Xt(1-t) + 1272t} \right)$$

Di mana:

t : durasi curah hujan dalam satuan jam

$X_t$  : curah hujan maksimum yang terpilih

## 2.4 Analisis Hidraulika

Tujuan dari analisis hidraulika adalah sebagai berikut:

1. Untuk merencanakan dimensi, bentuk saluran drainas dan sistem jaringan drainase
2. Untuk menghitung debit rencana dan dimensi saluran perumahan agar mampu menanggulangi genangan akibat debitbanjir dengan suatu kala ulang tertentu

Dalam kaitannya dengan pekerjaan pengendalian banjir, analisis hidraulika digunakan untuk mengetahui profil muka air. Untuk mendukung analisa hitungan guna memperoleh parameterisasi desain yang handal, dibutuhkan validasi data dan metode hitungan yang representatif. (Suripin, 2004).

#### **2.4.1 Tipe Aliran**

Menurut Suripin (2003), secara umum saluran drainase merupakan aliran terbuka yaitu aliran dimana muka air mempunyai tekanansama dengan tekanan atmosfer. Aliran terbuka dapat digolongkan menjadi berbagai tipe berdasarkan perubahan kedalaman aliran sesuai dengan ruang dan waktu. Berdasarkan ruang, tipe aliran dibedakan menjadi sebagai berikut:

- a. Aliran seragam, bila kedalaman air pada setiap potongan melintangnya sama.
- b. Aliran tidak seragam, bila kedalaman air pada setiap potongan melintangnya tak sama

Berdasarkan waktu, tipe aliran dibedakan menjadi sebagai berikut:

- a. Aliran tetap, apabila kedalaman air tidak berubah atau dianggap tetap dalam kurun waktu tertentu.
- b. Aliran tidak tetap, bila kedalaman aliran sesuai dengan waktu.

#### **2.4.2 Jaringan Drainase**

Menurut Suripin (2004), jaringan drainase merupakan suatu jaringan yang berfungsi untuk membuang kelebihan air yang tidak diinginkan. Kelebihan air ini diakibatkan karena keseimbangan air pada daerah-daerah tersebut terganggu, dikarenakan air yang masuk pada daerah-daerah tertentu lebih besar dari air yang keluar.

Terdapat dua cara pembuangan air yang dapat dipakai, yaitu dengan cara terpisah dan dengan cara gabungan. Yang dimaksud dengan cara terpisah adalah suatu cara pembuangan air yang dipisahkan dengan pembuangan, air kotor yang berasal dari perumahan, pabrik-pabrik dan lainnya. Sedangkan yang dimaksud

dengan cara gabungan adalah suatu cara pembuangan gabungan dari air hujan dan air kotor disalurkan melalui satu saluran.

#### **2.4.3 Kecepatan Aliran Maksimum yang Diijinkan**

Kecepatan minimum yang diperbolehkan adalah kecepatan terkecil yang tidak menimbulkan pengendapan partikel (sedimentasi) di saluran yang dapat mencegah tumbuhnya tumbuhan air dalam saluran. Pada umumnya kecepatan minimum yang diperbolehkan adalah sebesar 0,45-1,5 m/dt. (Halim Hasmar, 2002)

Sedangkan kecepatan maksimum yang diperbolehkan adalah kecepatan rata-rata terbesar yang tidak boleh mengakibatkan terjadinya penggerusan terhadap badan saluran. Nilai kecepatan maksimum pada material beton adalah 1,5 m/dt. (Halim Hasmar, 2002)

#### **2.4.4 Kemiringan Dasar Saluran Drainase**

Menurut Suripin (2004), kemiringan dasar saluran pada umumnya dipengaruhi pada topografi serta tinggi energi yang diperlukan untuk menyebabkan adanya pengaliran. Dalam beberapa hal kemiringan dasar saluran tergantung pada tujuan penggunaan dari saluran tersebut. Misalnya saluran untuk keperluan irigasi memerlukan tinggi yang cukup pada tempat pemberian air, sehingga membutuhkan kemiringan yang kecil agar elevasi minimal.

Kemiringan dasar saluran tergantung pada macamnya material yang membentuk tubuh saluran. Faktor lain yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan kemiringan tersebut adalah cara konstruksi, kehilangan-kehilangan yang disebabkan oleh rembesan geometri saluran, perubahan iklim, dan lain sebagainya.

#### **2.4.5 Tinggi Jagaan Saluran Drainase**

Menurut Chow (1992), yang dimaksud dengan tinggi jagaan dari suatu saluran adalah jarak vertikal dari puncak tanggul sampai permukaan air pada kondisi perencanaan. Jarak tersebut harus sedemikian rupa, sehingga dapat

mencegah peluapan air akibat gelombang serta fluktuasi permukaan air. Tinggi jagaan tersebut direncanakan 5% - 10% dari dalamnya perencanaan drainase.

#### 2.4.6 Dimensi Saluran Drainase

Menurut Chow (1992), dimensi saluran drainase dihitung dengan pendekatan rumus-rumus aliran seragam dan mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Dalam aliran, luas penampang lintang aliran, kecepatan aliran serta debit selalu tetap pada setiap penampang melintang
2. Garis energy dan dasar saluran sejajar

Saluran drainase dapat terbuka ataupun tertutup menurut keadaan, meskipun tertutup dan penuh air, alirannya bukan merupakan aliran tekanan, sehingga rumus aliran seragam tetap berlaku. (Chow, 1992)

Rumus kecepatan rata-rata pada perhitungan dimensi penampang digunakan rumus manning. Rumus ini merupakan bentuk yang sederhana dan memberikan hasil yang memuaskan, sehingga rumus ini sangat luas penggunaannya sebagai rumus aliran seragam dalam perhitungan saluran. Berikut adalah rumus Manning:

1. Luas penampang basah:

$$A = (b + (m \times h)) \times h$$

2. Keliling basah

$$P = b + 2 \times h \sqrt{m^2 + 1}$$

3. Jari-jari Hidrolis

$$R = A/P$$

4. Kecepatan aliran

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

Di mana:

V = Kecepatan aliran (m/dt)

N = Angka kekasaran saluran



$m$  = Kemiringan dinding saluran

$h$  = Tinggi saluran (m)

$w$  = Tinggi jagaan saluran (m)

$R$  = Jari-jari hidrolis saluran

$I$  = Kemiringan dasar saluran

Untuk menentukan kapasitas saluran drainase, digunakan rumus:

$$Q = A \times V$$

Di mana:

$Q$  = Debit aliran ( $m^3/dt$ )

$A$  = Luas penampang melintang basah saluran ( $m^2$ )

$V$  = Kecepatan aliran ( $m^3/dt$ )

Menurut Chow (1992), setelah didapatkan debit rencana, kemudian dimasukkan ke dalam rumus manning, dimana nilai dari kemiringan dasar saluran ( $I$ ) ditentukan dengan nilai koefisien manning ( $N$ ) yang diperoleh berdasarkan bahan lapisan material yang diinginkan. Serta nilai  $A$  dan  $R$  tergantung lebar saluran ( $b$ ) yang direncanakan dengan memperhatikan pembebasan tanah, maka akan didapatkan dimensi penampang saluran yang dikehendaki.

Menurut Chow (1992), dalam dimensi saluran drainase, harus dihitung jumlah air hujan dan air kotor yang akan melewati saluran tersebut.

**Tabel 2.5** Harga Koefisien Manning

No	Material	Koefisien Manning (N)
1	Besi tuang dilapisi	0,014
2	Kaca	0,010
3	Saluran beton	0,013
4	Baja dilapisi mortal	0,015
5	Pasangan batu disemen	0,025
6	Saluran tanah bersih	0,022
7	Saluran tanah	0,030
8	Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
9	Saluran pada galian batu padas	0,040

Sumber: Ven Te Chow, Hidrolika

## 2.5 Sumur Resapan

Sunjoto (1987) telah menelaah tentang teknologi tradisional yang telah memperhatikan masalah konservasi air dalam menyelesaikan genangan di kawasan pemukiman. Sistem drainase berwawasan lingkungan adalah usaha menampung air yang jatuh di atap pada suatu reservoir tertutup di halaman masing-masing atau secara kolektif untuk member kesempatan air meresap ke dalam tanah dengan harapan sebanyak mungkin air hujan diresapkan ke dalam tanah.

Sumur resapan merupakan sumur gali namun berfungsi sebaliknya, yaitu menampung air hujan yang jatuh di atap untuk member kesempatan meresap ke dalam tanah. Berbeda dengan sumur air minum, sumur resapan berfungsi untuk memasukkan air ke dalam tanah. Sedangkan sumur air minum berfungsi untuk menaikkan air tanah ke permukaan. Dengan demikian, konstruksi dan kedalamannya berbeda. Sumur resapan digali dengan kedalaman diatas muka air tanah, sedangkan sumur air minum digali lebih dalam lagi atau dibawah muka air tanah.

Sumur ini diperkuat dengan dinding dari buis beton dan ruangan dipersiapkan kosong untuk dapat menampung sebanyak mungkin air hujan. Pada bagian dalam sumur, lapisan atasnya dilapisi ijuk dan kerikil untuk meresapkan air, dan pada bagian atas ditutup dengan plat beton kemudian diurug dengan lapisan tanah, untuk bisa dimanfaatkan sebagai tanaman.

Untuk menghitung kedalaman sumur resapan, digunakan dengan rumus sebagai berikut:

$$H = \frac{Q}{FK} \left[ 1 - e^{-\frac{FKT}{\pi R^2}} \right]$$

Di mana:

H = tinggi muka air dalam sumur (m)

F = faktor geometrik (m)

Q = debit air masuk (m<sup>3</sup>/dt)

T = waktu pengaliran (detik)

$K$  = koefisien permeabilitas tanah (m/dt)

$R$  = jari-jari sumur (m)

### 2.5.1 Konstruksi Sumur Resapan

Bentuk dan ukuran konstruksi sumur resapan sesuai dengan SNI No. 03-2459-1991 adalah berbentuk segi empat atau silinder dengan ukuran minimal diameter 0,8 meter dan maksimum 1,6 meter dengan kedalaman disesuaikan dengan tipe konstruksi sumur resapan. Pemilihan bahan bangunan yang dipakai tergantung dari fungsinya, seperti plat beton bertulang dengan tebal 10 cm dengan campuran 1 Pc : 2 Pasir : 3 Kerikil. Untuk penutup sumur dan dinding bata merah dengan campuran spesi 1 Pc : 5 Pasir tidak diplesir, tebal  $\frac{1}{2}$  bata.

### 2.5.2 Persyaratan Teknis dan Kriteria Sumur Resapan

A. Menurut Sunjoto, persyaratan sumur resapan adalah sebagai berikut:

1. Hanya meresapkan air hujan dan bebas dari pencemaran
2. Hanya diterapkan pada lahan yang tidak berpotensi gerakan tanah.  
Seperti :
  - Kemiringan lereng  $> 30\%$
  - Ikatan tanah bersifat koheren atau semi koheren
  - Bidang perlapisan tanah/batuan tidak miring ke arah lereng
3. Hanya dibuat pada daerah dengan kedalaman muka air tanah  $> 3$  meter
4. Hanya dibuat pada persil yang penutupnya  $> 20\%$  luas tanah
5. Harus dibuat pada tanah yang lurus air
6. Kedalaman maksimum sumur resapan dianjurkan  $< 5$  meter, agar pemeliharaannya mudah.
7. Untuk daerah sanitasi lingkungan yang buruk, sumur resapannya hanya menampung air hujan dari atap (melalui talang).

Selain persyaratan, kriteria sumur resapan menurut Sunjoto adalah sebagai berikut:

1. Dapat merembeskan air dengan cepat

2. Menampung air secara optimal
3. Tahan terhadap gaya lateral tanah dan kokoh
4. Mudah dan praktis dalam pelaksanaan

#### B. Menurut Badan Perencanaan Umum (PU)

Persyaratan sumur resapan adalah sebagai berikut:

1. Air yang masuk ke dalam sumur resapan adalah air hujan
2. Bebas dari kontaminasi atau pencemaran limbah
3. Untuk daerah sanitasi lingkungan yang buruk, sumur resapan air hujan hanya mampu menampung dari atap yang disalurkan melalui talang.
4. Mempertimbangkan aspek hidrologi, hidrogeologi, dan geologi.

#### 2.5.3 Faktor-Faktor Yang Perlu Dipertimbangkan

Sumur resapan yang dibuat harus memenuhi syarat teknis yang ada, sehingga kerjanya dapat dipertanggung jawabkan serta tidak menimbulkan dampak baru terhadap lingkungan. Model dan ukuran dari sumur resapan harus memperhatikan faktor sebagai berikut:

##### 1. Iklim

Iklim merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan dalam merencanakan sumur resapan, karena besarnya curah hujan akan menentukan besar kecilnya sumur resapan yang akan dibuat.

##### 2. Kondisi Air Tanah

Sumur resapan akan sangat efektif dan dapat berfungsi dengan baik bila dibuat pada lahan yang memiliki kondisi muka air tanah yang dalam, karena kondisi tanah seperti ini sangat memerlukan suplai air.

##### 3. Kondisi Tanah

Keadaan tanah sangat berpengaruh pada besar kecilnya daya resap tanah terhadap air hujan. Dengan demikian konstruksi dari sumur resapan harus mempertimbangkan sifat fisik tanah. Sifat fisik tanah yang langsung

berpengaruh terhadap besarnya infiltrasi (resapan air) yaitu tekstur tanah dan pori-pori tanah.

#### 4. Tata Guna Lahan

Tata guna lahan akan sangat berpengaruh terhadap potensi yang meresap ke dalam tanah dengan aliran permukaan. Pada tanah yang banyak tertutup beton bangunan, air hujan akan mengalir dipermukaan tanah. Dengan demikian, dilahan yang penduduknya padat sumur resapan harus dibuat lebih banyak dan lebih besar dimensinya.

##### 2.5.4 Material Sumur Resapan

Sumur resapan dapat dibuat dari berbagai bahan yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan serta ketersediaan bahan baku di lokasi dan ketersediaan dana yang memadai. Bahan-bahan pokok yang dapat dibuat untuk sumur resapan adalah sebagai berikut:

1. Bahan saluran air dapat menggunakan pipa PVC
2. Dinding sumur resapan dapat menggunakan tembok, beton, drum bekas, atau yang lain sesuai dengan ketersediaan di lapangan
3. Alas sumur dan sela bagian dinding tempat meresapnya air terdiri dari beberapa bahan, seperti ijuk, kerikil, dan batu kali

##### 2.5.5 Sumur Resapan Untuk Perkotaan

Di daerah perkotaan dengan penduduk yang padat banyak terjadi penurunan muka air yang menyebabkan sulit didapat sumber air. Hal tersebut disebabkan oleh semakin berkurangnya lahan terbuka yang mampu berfungsi meresapkan air hujan atau semakin banyaknya lahan yang tertutup oleh bangunan. Sehingga sudah sewajarnya bila sejalan dengan berkembangnya pemukiman penduduk, peresapan air semakin lama semakin sedikit. Sementara air yang dialirkan ke atas permukaan melalui sumur-sumur atau pompa semakin banyak.

Salah satu alternatif untuk memperbaiki keadaan yang demikian adalah melalui sumur resapan. Sumur resapan yang dapat diterapkan diperkotaan dapat berupa sumur resapan individual atau kolektif.

### 2.5.6 Sumur Resapan Individual

Sumur resapan individual adalah sumur resapan yang dibuat secara pribadi untuk masing-masing rumah. Biaya pembuatan dan pemeliharaan diserahkan kepada pemiliknya. Letak sumur resapan harus diperhatikan dengan keadaan baik tanpa menimbulkan dampak baru bagi kepentingan lainnya. Hal yang perlu diperhatikan keadaan sumur resapan yaitu jarak sumur resapan dengan bangunan-bangunan lain seperti septic tank, sumur resapan air minum, dan jalan umum. Jarak minimal sumur resapan dengan bangunan lain dapat dilihat pada Tabel 2.6

**Tabel 2.6 Jarak Sumur Resapan dengan Bangunan Lain**

No	Jenis Bangunan	Jarak dari sumur resapan (m)
1	Tanki Septic	2
2	Saluran air limbah, pembuang sampah	5
3	Sumur air bersih	3

Sumber: *SNI*

Adapun pilihan jenis bahan baku sumur resapan individu yang dapat dipergunakan untuk daerah perkotaan sangat banyak. Dindingnya dapat dibuat dari tembok, beton, atau yang lain sesuai dengan keadaan material yang ada di lokasi. Saluran air dapat dibuat dari pipa PVC. Dan bahan peresapnya menggunakan material ijuk dan kerikil.

### 2.5.7 Sumur Resapan Kolektif

Sumur resapan kolektif adalah sumur resapan yang dibangun secara bersama-sama dalam satu kawasan tertentu. Sumur resapan ini dapat dibuat persepuluh rumah, perblok, satu RT, atau satu kawasan pemukiman. Untuk sumur kolektif biayanya persatuan rumahnya akan lebih murah dibandingkan individual.

Biaya pembuatan dan pemeliharaan dapat dari biaya pemerintah, *developer*, atau swadaya masyarakat. Pemilihan model sumur resapan tergantung

pada keadaan lingkungan dan ketersediaan tanah dikawasan tersebut. Adapun macam-macam sumur resapan yang dapat dibuat kolektif antara lain kolam resapan, sumur dalam, dan parit berorak. Persyaratan untuk ketiga model tersebut adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.7** Sumur Resapan Kolektif

<b>Model Sumur Resapan Yang Diterapkan</b>	<b>Kedalaman Muka Air</b>	<b>Ketersediaan Lahan</b>
Kolam resapan	Dangkal (< 5 m)	Luas
Sumur dalam	Dangkal (> 5 m)	Sempit
Parit berorak	Dangkal (< 5 m)	Sempit

Sumber: *Ir. Kusnaedi*

Seperti halnya pada sumur resapan individual, sumur resapan kolektif juga harus memperhatikan tata letak dan jarak yang baik agar dapat berfungsi secara efektif dan tidak menimbulkan dampak yang lain. Lokasi yang baik untuk sumur resapan yang digunakan secara kolektif adalah lokasi terendah kawasan, dengan demikian air dapat dengan mudah mengalir dari semua tempat dikawasan tersebut.

## 2.6 Permeabilitas Tanah

Dede Rohmat (2009), mengemukakan bahwa permeabilitas tanah adalah suatu kesatuan yang meliputi infiltrasi tanah dan bermanfaat sebagai permudahan dalam pengolahan tanah. Faktor-faktor yang mempengaruhi permeabilitas tanah adalah sebagai berikut:

- Tekstur, tekstur sangat mempengaruhi permeabilitas tanah. Tanah yang bertekstur pasir akan mudah melewati air dalam tanah.
- Struktur, semakin banyak ruang antar struktur maka semakin cepat juga permeabilitas dalam tanah tersebut.
- Porositas, porositas atau ruang pori adalah rongga antar tanah yang biasanya diisi air atau udara. Pori sangat menentukan sekali dalam permeabilitas tanah, semakin besar pori dalam tanah tersebut, maka semakin cepat pula permeabilitas tanah.

- d. Viskositas, viskositas bisa disebut dengan kekentalan air. Semakin kental air tersebut, maka semakin sulit juga air untuk menembus tanah
- e. Gravitasi, gaya gravitasi atau gaya tarik bumi juga sangat menentukan permeabilitas tanah.

Suatu studi yang dilakukan oleh Azza, Adriano (2010), dalam Sosrodarsono (1987), mengatakan bahwa harga koefisien permeabilitas (k) untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda-beda. Berikut adalah nilai koefisien permeabilitas tanah

**Tabel 2.8** Koefisien Permeabilitas Tanah

No	Kategori	Nilai Permeabilitas (cm/jm)
1	Lambat	< 0,5
2	Agak Lambat	0,5 – 2,0
3	Sedang	2,0 – 3,6
4	Agak cepat	3,6 – 36
5	Cepat	>36

Sumber: *Badan Standar Nasional Indonesia*